

元阳红米麸皮、精米、糙米、留胚米中营养成分及花色苷含量分析

薛鹏¹, 张威毅^{2,3}, 张丰香¹, 任贵兴^{2,3}

(1. 潍坊医学院公共卫生与管理学院, “健康山东”重大社会风险预测与治理协同创新中心, 山东潍坊 261053)

(2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081) (3. 齐鲁工业大学食品科学与工程学院, 山东济南 250353)

摘要: 本文研究了云南元阳红米麸皮、糙米、精米、及留胚米中营养成分及花色苷的含量。采用国标法及高效液相法测定样品中的各类成分含量。发现麸皮中粗脂肪(13.96±0.31%), 粗蛋白(12.74±0.21%), 灰分(7.13±0.03%), 花色苷(198.62±5.02 μg/g), 钙元素(1132.09±21.2 μg/g), 镁元素(7530.89±151.63 μg/g), 铁元素(80.13±0.43 μg/g)等金属元素, 总氨基酸含量(90.03±0.98 μg/g), 呈味氨基酸含量(44.562±0.38 μg/g), 必需氨基酸含量(41.64±36 μg/g)及其17种各类氨基酸含量, 均高于其他样本中的含量。随着加工的深入, 除淀粉含量外, 其他营养物质及花色苷的含量逐步减少; 最终精米中粗淀粉含量可达(84.87±2.34%)。此外发现, 留胚米可以保留住各类营养素, 与糙米的指标最为接近。通过研究, 发现麸皮中含量较多的蛋白质、红米色素及矿物质, 为后期的麸皮深加工提供了理论支持, 为元阳当地的麸皮利用提供了新的方向。

关键词: 元阳红米; 麸皮; 营养成分; 花色苷

文章编号: 1673-9078(2018)03-212-217

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.03.031

Analysis of the Nutrients and Anthocyanins Contents of Red Rice Bran, Polished Rice, Brown Rice and Germ-left Rice from Yuanyang County

XUE Peng¹, ZHANG Wei-yi^{2,3}, ZHANG Feng-xiang¹, REN Gui-xing^{2,3}

(1. Collaborative Innovation Center of "Healthy Shandong" Major Social Risk Prediction and Management, School of

Public Health and Management, Weifang Medical University, Weifang 261053, China)(2. Institute of Crop Sciences,

Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)(3. College of Food Science and Technology, Qilu

University of Technology, Jinan 250353, China)

Abstract: The nutrition facts and anthocyanins content of the red rice bran, brown rice, polished rice and germ-left rice sampled from Yuanyang county of Yunnan province were analyzed by the national standard method and high performance liquid phase (HPLC). Resulted showed that the contents of crude fat (13.96±0.31%), crude protein (12.74±0.21%), ash (7.13±0.03%), anthocyanin (198.62±5.02 μg/g), calcium (1132.09±21.2 μg/g), magnesium (7530.89±151.63 μg/g), iron (80.13±0.43 μg/g), total amino acids (90.03±0.98 μg/g), flavor amino acids (44.562±0.38 μg/g), essential amino acids (41.64±36 μg/g) and 17 kinds of amino acids were higher in bran than in the other samples. Deeper processing resulted in the gradual reduce in the contents of other nutrients and anthocyanins except the starch content. The final content of crude starch in polished rice could reach 84.87±2.34%. Moreover, the germ-left rice retained all kinds of nutrients, which were most closely related to the index of brown rice. In addition, high contents of protein, red rice pigment and minerals in bran were determined, which provided a theoretical support for the further processing of bran and a new direction for the utilization of bran in Yuanyang county.

Key words: red rice of Yuanyang; bran; nutrition facts; anthocyanins

收稿日期: 2017-11-22

基金项目: 云南省专家基层科研工作站元阳红米工作站; 山东省高等学校科技计划(J16LF63)

作者简介: 薛鹏(1989-), 男, 博士, 讲师, 研究方向: 食品安全与成分研究

通讯作者: 张丰香(1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养成分研究; 任贵兴(1963-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 杂粮营养及功能成分研究(共同通讯作者)

元阳县位于云南南部,红河南岸,是集边疆、山区、民族、贫困四位一体的国家扶贫开发工作重点县。境内山高谷深,无一平川。梯田红米栽种于海拔1600~1800m之间,独特的地域、气候、水源才能满足其生长需求,采用山泉水灌溉、施农家肥、人工耕耨除草的原始耕作方式,保证哈尼红米品质的优越。元阳红米米色红润,米粒细长,熟红米饭松软可口,清香回甜,冷不回生,堪称大米中的精品,被誉为云南六大名米之一。

留胚米又称胚芽米,在加工过程中保留了胚芽部分的一种精制米,既胚的保留率在80%以上,并且每100g中胚的含量在2g以上^[1]。糙米主要是指稻谷剥去粗糠而保留内皮层,随着加工过程的深入,碾米过程中皮层及胚逐步脱落,形成市场上常见的精米^[2]。稻米的胚芽和皮层中富含蛋白质、维生素及量营养元素。留胚米保留了一定量的胚芽和皮层,与精米相比,营养保留较多。

与无色稻米不同的是,有色米如黑米,红米的麸皮中还含有大量的花色苷类物质,其中黑米中提取的红色素也作为绿色安全的着色剂在市场上推广应用^[3,4]。元阳县粮食局根据生产需要安装了一条红米留胚米加工生产线。加工过程中发现,在产出留胚米及精米的同时,也会生成一部分的副产品,如麸皮。目前元阳县可产红米1万t左右,但是其麸皮碎米在2000余t,大多数情况下,麸皮会当做肥料还田或者饲用;造成了资源浪费;急需综合分析麸皮中的营养及功能性成分,建立相应的生产线,并对其进一步开发和利用,为元阳县“精准扶贫”提供科技支撑。实验室前期收集了红米原粮在加工过程中所产生的麸皮作为实验材料,其精米,糙米,及留胚米作为实验对照材料。利用各类分析方法,考察各类材料中的营养及功能成分含量。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红米产于云南省元阳县牛角寨,所用的红米麸皮,精米,糙米,留胚米由元阳县粮食供销公司提供;γ-氨基丁酸标准品(纯度≥99%),美国Sigma公司;芍药苷3-葡萄糖苷标准品(纯度≥98%)购于中国食品药品检定研究院;钙、镁、铁、锌和氨基酸等标准物质购于国家质检总局标准物质中心;乙腈,色谱纯,德国Merck公司;4-二甲胺基苯基偶氮苯磺酰氯(Dabsyl chloride),美国Sigma公司;三水合乙酸钠、无水乙醇、碳酸氢钠,分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

实验室用水为去离子水。

1.2 仪器

岛津LC-20A高效液相色谱仪;日立L-8800型氨基酸自动分析仪;Foss凯氏定氮仪;原子吸收光谱TAS-986。

1.3 材料与试剂

1.3.1 一般营养成分测定

水分测定:GB/T 5009.03-2010直接干燥法;灰分:GB/T 5009.04-2010;蛋白质:GB/T 5009.05-2003凯氏定氮法;脂肪:GB/T 5009.06-2003索氏提取法。

1.3.2 氨基酸测定

参考文献^[5]的方法。

1.3.3 矿物质测定

原子吸收光谱法:锌:GB/T 5009.14-2003;铁、锰:GB/T 5009.90-2003,钾、钠:GB/T 5009.91-2003;钙:GB/T 5009.92-20031。

1.3.4 γ-氨基丁酸的测定

1.3.4.1 标准溶液的配制

称取γ-氨基丁酸标准品11.2mg(精确到0.1mg),用80%乙醇溶解定容至10mL,得到质量浓度为1000mg/L的标准储备溶液,于4℃冰箱中保存。

1.3.4.2 样品的处理

精密称取试样502.12mg试样于50mL离心管中,加10mL体积分数80%的乙醇,称重,浸泡30min后,超声波辅助提取15min,静置5min,用体积分数80%的乙醇补足失重,5000r/min离心5min,提取上清液,备用。

1.3.4.3 衍生化处理

准确吸取样液1mL于具塞试管中,加入200μL 0.4mol/L碳酸氢钠溶液和400μL 3.0mmol/L 4-二甲胺基苯基偶氮苯磺酰氯衍生试剂,漩涡振荡器混匀、70℃水浴衍生反应20min后,经0.45μm滤膜备用。

1.3.4.4 液相条件

色谱柱:Shiseido CAPCELL PAK MG II C18(4.6mm×250mm i.d., 5μm);流动相:A, 50mmol/L三水合乙酸钠,B,乙腈;10%B 0~5min;10~20%B 5~20min,60~80%B 20~45min,80~10%B 45~49min,10%B 50~55min;流速:1.0mL/min;柱温:30.0℃;检测波长:436nm;进样量:20.0μL。

1.3.5 花色苷的测定

1.3.5.1 标准溶液的配制

称取芍药苷3-葡萄糖苷标准品1.21mg,用50%乙醇溶解定容至10mL,于4℃冰箱中保存。

1.3.5.2 样品的处理

称取红米样品 0.52 g 于 15 mL 离心管中, 加入 10 mL 乙醇/水/盐酸 (50/50/0.5, V/V/V) 提取液, 避光, 震荡提取 8 h, 离心, 取上清液过 0.45 μm 滤膜, 备用。

1.3.5.3 液相条件

Ultrasphere 5 C18 (4.6 mm \times 250 mm, Ultrasphere Co., Ltd., Berkshire, UK), 检测波长 520 nm, 柱温箱 25 $^{\circ}\text{C}$, 色谱相 A: 水, B: 乙腈: 10%B 0~5 min; 10~25%B 5~10 min, 25~30%B 10~15 min, 30~60%B 15~50 min; 进样量: 20.0 μL 。

2 结果与讨论

2.1 一般营养成分分析

脂肪、蛋白与淀粉是粮食作物主要的营养物质, 其中脂肪含量与蛋白含量的高低也直接影响到食物的风味。

红米各样品的营养成分含量如表 1 所示, 其中蛋白麸皮中蛋白含量为 12.74 \pm 0.21%, 粗脂肪含量为 13.96 \pm 0.31%, 其中精米中主要含有粗淀粉可达 84.87 \pm 2.34%,

除粗淀粉含量外, 全胚米中各类营养成分含量略低于糙米; 但是高于精米; 糙米、全配米及精米的各成分没有明显差异, 留胚米中脂肪含量为 1.46 \pm 0.08% 显著高于精米中 0.49 \pm 0.02%, 留胚米可能会更好的保留红米的营养和风味。

各个材料之间的含水量没有明显差异, 而麸皮灰分含量为 7.13 \pm 0.03% 显著高于糙米的 1.74 \pm 0.01, 糙米, 留胚米及精米其灰分含量无明显差异; 说明大多数矿物质存在于外皮层中, 随着加工过程中, 皮层被剥离, 矿物质元素也随之流失。

红米的胚芽米的营养品质与常见稻米无明显差异^[1], 元阳红米中蛋白质含量灰分含量要高于陕西产黑米及红糯米, 而脂肪含量明显低于陕西产特种稻米^[6]。

表 1 一般成分分析表

Table 1 General composition of the red rice bran, brown rice, polished rice and germ-left rice sampled from Yuanyang county of Yunnan province

项目	糙米	留胚米	精米	麸皮
粗脂肪/%	1.76 \pm 0.06 ^b	1.46 \pm 0.08 ^b	0.49 \pm 0.02 ^c	13.96 \pm 0.31 ^a
粗淀粉/%	78.40 \pm 1.97 ^b	81.00 \pm 2.16 ^b	84.87 \pm 2.34 ^b	36.11 \pm 1.35 ^a
粗蛋白/%	8.18 \pm 0.16 ^b	8.01 \pm 0.14 ^b	7.79 \pm 0.11 ^b	12.74 \pm 0.21 ^a
灰分/%	1.74 \pm 0.01 ^b	1.56 \pm 0.02 ^b	1.16 \pm 0.01 ^b	7.13 \pm 0.03 ^a
水分/%	11.77	11.63	11.39	9.88

注: 表中数据为平均值 \pm 标准差; 同列不同小写字母表示不同处理之间在 0.05 水平存在显著差异 (n-3), 下同。

2.2 氨基酸分析

本实验采用氨基酸自动分析仪对样品中的氨基酸进行测定, 氨基酸分析结果如表 2 所以, 此次分析的 17 种常见氨基酸中以谷氨酸含量最高, 在糙米、精米、留胚米及麸皮中的含量分别为 9.584 \pm 0.162 mg/g, 10.675 \pm 0.215 mg/g, 11.733 \pm 0.136 mg/g, 及 21.909 \pm 0.309 mg/g; 与基本营养成分含量一致的是, 麸皮中的各类氨基酸含量都高于其他样品; 除此之外所检测到麸皮中必需氨基酸含量 90.03 \pm 0.98 mg/g 和总氨基酸含量 41.643 \pm 36 mg/g 明显高于其他样品。而糙米, 全胚米, 精米中的各类氨基酸含量无明显差异。天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸作为改善大米滋味的重要因素又称呈味氨基酸, 在红米样品中大量存在, 在总氨基酸含量的比例均超过 40%, 说明红米的口感会更好^[6]。

2.3 矿物质分析

红米中有丰富的矿物质资源, 特别是钙、镁、铁和锌等物质。本实验采用原子吸收光谱对样品中的矿物质元素进行了测定, 测定结果见表 3。实验发现红米的矿物质元素主要积累在麸皮中, 随着加工的深入, 矿物质元素逐步流失, 以钙元素为例麸皮中的含量为 (1132.09 \pm 21.2 $\mu\text{g/g}$), 糙米中的含量为 (507.02 \pm 4.39 $\mu\text{g/g}$) 留胚米中 (248.19 \pm 0.67 $\mu\text{g/g}$), 进一步抛光到精米时只有 (209.81 \pm 4.33 $\mu\text{g/g}$), 另一种损失较为严重的矿物质元素为镁, 麸皮中含量高达 (7530.89 \pm 151.63 $\mu\text{g/g}$), 糙米中的含量为 (1611.20 \pm 6.5 $\mu\text{g/g}$) 留胚米中 (1288.44 \pm 7.59 $\mu\text{g/g}$), 进一步抛光到精米时只有 (659.04 \pm 7.87 $\mu\text{g/g}$); 值得注意的是麸皮中也含有一定量的铁元素 (80.13 \pm 0.43 $\mu\text{g/g}$) 而加工成精米之后其铁元素的含量仅为 3.51 $\mu\text{g/g}$; 红米中的铁、镁、钙和锌等元素是传统稻米矿物质含量的数倍^[1], 是陕西产特种米的几十倍^[6]; 云南哈尼当地红米又称“月子米”与其所含丰富的矿物质元素有重要关系。

值得注意的是, 元阳梯田红米之所以富含如此高

的矿物质元素与其当地独特的气候和特殊的农耕文化有着巨大关系。

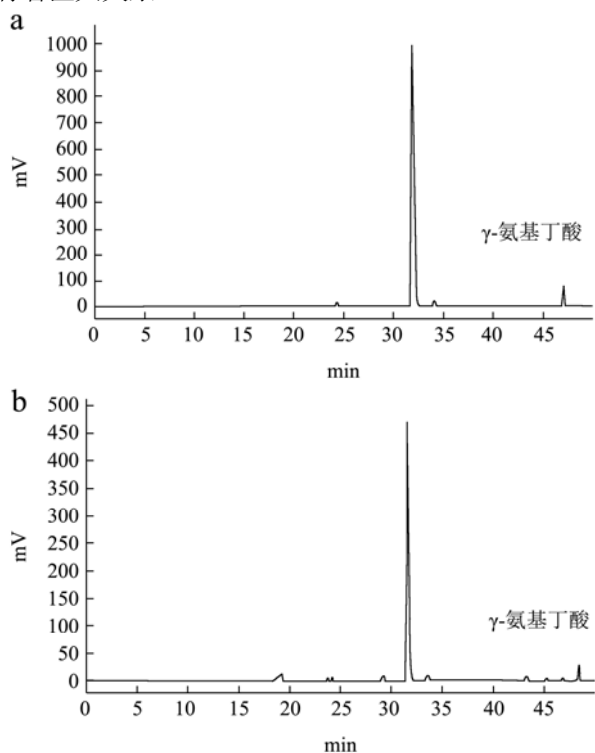


图1 γ -氨基丁酸的高效液相图

Fig.1 HPLC chromatogram of γ -aminobutyric acid in reference substance (a) and bran sample (b)

注: a 对照品, b 麸皮样品

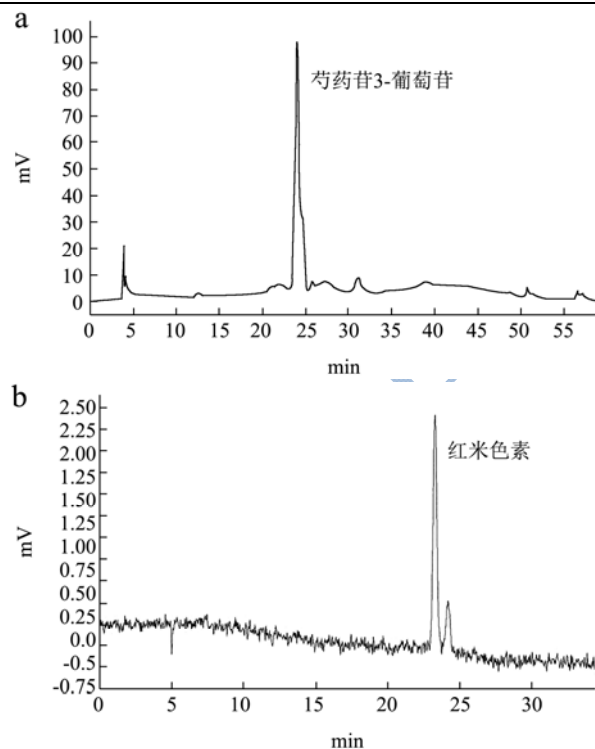


图2 花色苷的高效液相图,

Fig.2 HPLC chromatogram of anthocyanin in reference substance (a) and bran sample (b)

注: a 对照品, b 麸皮样品

表2 氨基酸分析

Table 2 Analysis of amino acids of the red rice bran, brown rice, polished rice and germ-left rice e (mg/g)

项目	糙米	全胚米	精米	麸皮
天冬氨酸 [▲] Asp	5.25±0.01 ^c	4.76±0.04 ^c	7.46±0.05 ^b	10.76±0.19 ^a
苏氨酸* Thr	4.08±0.08 ^b	3.31±0.06 ^b	4.89±0.06 ^b	6.67±0.02 ^a
丝氨酸 Ser	2.91±0.05 ^c	2.46±0.04 ^c	3.07±0.03 ^b	4.75±0.01 ^{ab}
谷氨酸 [▲] Glu	9.58±0.16 ^b	10.68±0.22 ^b	11.73±0.14 ^b	21.91±0.31 ^a
甘氨酸 [▲] Gly	3.87±0.06 ^b	2.40±0.02 ^c	4.06±0.01 ^b	5.23±0.03 ^a
丙氨酸 [▲] Ala	2.88±0.04 ^c	3.14±0.01 ^{bc}	4.50±0.08 ^{ab}	6.66±0.14 ^a
半胱氨酸* Cys	0.88±0.01 ^b	1.12±0.01 ^b	1.19±0.01 ^b	1.30±0.01 ^a
缬氨酸* Val	4.30±0.04 ^b	4.09±0.06 ^b	4.76±0.10 ^b	7.19±0.14 ^a
甲硫氨酸* Met	1.27±0.02	1.40±0.01	1.44±0.01	2.12±0.017
异亮氨酸 *Ile	2.83±0.02 ^b	2.43±0.02 ^b	2.84±0.01 ^b	4.88±0.08 ^a
亮氨酸 *Leu	4.60±0.07 ^b	4.66±0.07 ^b	5.53±0.01 ^b	9.66±0.08 ^a
酪氨酸* Tyr	2.49±0.02 ^b	2.29±0.02 ^b	2.71±0.05 ^b	3.84±0.03 ^a
苯丙氨酸* Phe	4.32±0.04 ^b	3.18±0.012 ^b	3.69±0.02 ^b	6.24±0.03 ^a
赖氨酸* Lys	3.92±0.01 ^b	2.29±0.02 ^c	4.08±0.05 ^b	4.89±0.021 ^{ab}
组氨酸* His	1.85±0.01 ^{bc}	1.42±0.01 ^c	2.07±0.01 ^b	2.75±0.03 ^a
精氨酸* Arg	5.53±0.10 ^b	4.46±0.06 ^b	5.83±0.02 ^b	9.14±0.03 ^a
脯氨酸 Pro	1.76±0.03 ^c	1.96±0.01 ^c	2.59±0.02 ^b	3.961±0.08 ^a

接上页

总氨基酸含量	62.33±0.75 ^b	56.06±0.67 ^b	66.03±0.78 ^b	90.03±0.98 ^a
呈味氨基酸	21.581±0.29 ^b	20.982±0.27 ^b	27.74±0.29 ^b	44.562±0.38 ^a
必需氨基酸含量	25.32±0.31 ^b	21.35±0.24 ^b	23.54±0.26 ^b	41.64±36 ^a

注: *必需氨基酸; ★半必需氨基酸; ▲呈味氨基酸。

表3 矿物元素分析表

Table 3 Analysis of minerals of the red rice bran, brown rice, polished rice and germ-left rice (μg/g)

项目	糙米	全胚米	精米	麸皮
铁	25.47±0.05 ^b	4.94±0.04 ^c	3.51±0.06 ^c	80.13±0.43 ^a
镁	1611.20±6.51 ^b	1288.44±7.59 ^b	659.04±7.87 ^c	7530.89±151.63 ^a
锌	19.94±0.01 ^b	16.49±0.12 ^b	13.89±0.05 ^b	37.94±0.67 ^a
锰	21.47±0.04 ^b	12.47±0.06 ^c	7.44±0.01 ^c	87.86±0.78 ^a
钙	507.02±4.39 ^b	248.19±0.67 ^c	209.81±4.33 ^c	1132.09±21.2 ^a
铜	3.45±0.06 ^a	0.98±0.02 ^b	0.98±0.01 ^b	3.50±0.01 ^a

表4 功能成分分析表

Table 4 Analysis of functional components

项目	糙米	全胚米	精米	麸皮
γ-氨基丁酸(μg/g)	17.91±0.24 ^{ab}	14.41±0.21 ^b	11.39±0.19 ^b	6.3±0.11 ^c
花色苷(μg/g)	34.95±2.12 ^b	24.58±2.01 ^b	7.57±0.91 ^c	198.62±5.02 ^a

2.4 γ-氨基丁酸及花色苷含量分析

2.4.1 线性关系考察

采用高效液相法考察红米中γ-氨基丁酸和花色苷含量;γ-氨基丁酸对照品及样品中的HPLC图,见图1;如图1所示,在4-二甲氨基苯基偶氮苯磺酰氯衍生物的作用下,γ-氨基丁酸衍生物可在436 nm波长下检测到,样品中的样品衍生物也在相应的位置出现,且干扰峰较少,因此方法,符合检测需要;芍药苷-3-葡萄糖苷对照品及样品的HPLC图,见图2;如图2所示,在当前检测波长下,可以发现红米中含有不同类型色素,因为对红米色素结构研究较少,样品中的花色苷含量以芍药苷-3-葡萄糖苷对照品的量计算。

采用自动进样装置,分别精密吸取含量为1.12、11.2、22.4、44.8、67.2、89.6、112、224 μg/mL γ-氨基丁酸和1.21、12.1、24.2、48.4、72.6、96.8、121 μg/mL 芍药苷-3-葡萄糖苷对照品溶液,20 μL注入液相色谱仪,测定。以进样量(μg)为横坐标,峰面积为纵坐标,进行线性回归,分别得回归方程 $Y=200000000X$ ($r=0.9991$)和 $Y=165400000X-84512$ ($r=0.995$)。结果表明:γ-氨基丁酸在1.12~224 μg,芍药苷-3-葡萄糖苷在1.21~242 μg范围内,进样量与峰面积呈良好的线性关系。

2.4.2 γ-氨基丁酸与花色苷的含量

γ-氨基丁酸(γ-aminobutyric acid, GABA)又称4-氨基丁酸,是一种非蛋白质氨基酸,在稻米、豆属、

参属、中草药等的种子、根茎和组织液中都含有γ-氨基丁酸,是哺乳动物中枢神经系统中一种重要的抑制性神经递质,具有降血压、抗疲劳、改善脑机能和增强记忆等功能^[7-9]。通过种子萌动技术,可以使稻米中的γ-氨基丁酸含量得到明显的提高^[10,11];γ-氨基丁酸化学结构清晰,目前通过稻米发芽提取和化学合成获得^[12]。

红米中的γ-氨基丁酸含量,如表4所示,γ-氨基丁酸主要保存在种子的胚中,所以在糙米中的含量较高为17.91±0.24 μg/g,其次为留胚米14.41±0.21 μg/g,精米11.39±0.19 μg/g,然而在麸皮中含量较低为6.3±0.11 μg/g;糙米、留胚米及精米中γ-氨基丁酸的含量虽无明显差异,但也呈递减趋势;然而麸皮中的也检测到一定量的γ-氨基丁酸存在,虽然其含量低于其他加工品种,仍可说明麸皮中有加工过程中红米脱落的胚。

花色苷是高等植物次生代谢中产生的黄酮类化合物之一,广泛存在于被子植物表皮细胞液泡中,赋予植物花、叶、果实、皮等器官红、紫、蓝等色^[13-16]。在自然界中广泛分布,花色苷作为一种天然食用色素,安全、无毒、资源丰富;花色苷具备显著的抗氧化、抗酒精致神经损伤,保护视神经,抗糖尿病等活性^[17-19],在食品、化妆品和医药等领域有着巨大的市场。

花色苷为红米主要的色素物质,主要集中在红米的种皮上,因此,红米麸皮中含量最高为198.62±5.02 μg/g并远远高于其他加工品种,糙米中含量为

34.95±2.12 μg/g, 留胚米保留一部分色素含量为 24.58±2.01 μg/g, 而精米中含量仅为 7.57±0.91 μg/g。

花色苷在黑米中的含量要远远高于在红米中的含量^[20]。矢车菊素类、芍药素类、天竺葵素类和锦葵素类等是黑米中花色苷的主要成分^[20-22], 红米中色素类型尚未进行研究。本次试验中尚未检测到芍药苷 3-葡萄糖苷, 推测红米色素中花色苷类型可能与黑米不同, 值得进一步探究。

3 结论

哈尼红米含有矿物质含量和花色苷类物质远远高于普通稻米; 哈尼族独特的农耕文化造就了红米中所含丰富的矿物质。然而由于当地科技水平发展较低, 造成了红米麸皮浪费。红米麸皮是尚未发掘的一座宝库, 完善完成对红米各类形态的成分评价, 不但可以让我们对红米有更进一步的认识, 还可以进一步对红米麸皮进行精加工以获取里面的红色素和矿物质, 这样综合利用云南稀有的红米资源, 带动当地经济发展, 改善农民生活。

参考文献

- [1] 朱一帆,冯亚斌,林轩,等.胚芽米营养成分研究[J].科技通报,2013,29(9):51-54
ZHU Yi-fan, FENG Ya-bin, LIN Xuan, et al. Nutritional components analysis of germ-remaining rice [J]. Bulletin of Science and Technology, 2013, 29(9): 51-54
- [2] 全东兴,刘晓兵.胚芽米(活米)的品质分析及其应用前景[J].种子世界,2010,5:15
QUAN Dong-xing, LIU Xiao-bing. The quality analysis and application prospect of the embryo rice (live rice) [J]. Seed World, 2010, 5: 15
- [3] 张守文,周云.绿米、红米、黑米的可食品质研究[J].粮食与食品工业,2004,11(4):11-14
ZHANG Shou-wen, ZHOU Yun. Study on edible quality of green rice, red rice and black rice [J]. Cereal and Food Industry, 2004, 11(4): 11-14
- [4] 刘琴,李敏,胡秋辉.黑米麸皮与紫包菜花青素提取物的组成、抗氧化性与稳定性比较研究[J].食品科学,2012,33(19):113-118
LIU Qin, LI Min, HU Qiu-hui. Purification and structural characterization of exopolysaccharide produced by *Streptococcus thermophilus* CH9 [J]. Food Chemistry, 2012, 33(19): 113-118
- [5] 乔海鸥.陕西洋县红米营养成分分析[J].营养学报,2013,35(6):616-617
QIAO Hai-ou. Analysis of the nutrient composition of red glutinous rice [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 616-617
- [6] 程国霞,聂晓玲,郭蓉,等.陕西汉中 3 种特种稻米营养成分分析与评价[J].营养学报,2016,38(1):99-101
CHENG Guo-xia, NIE Xiao-ling, GUO Rong, et al. Analysis of the nutrient composition of three kinds of particular rice in Hanzhong Shaanxi [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2016, 38(1): 99-101
- [7] 王子平.中国红米资源的研究与利用进展[J].湖南农业科学,2008,4:32-34
WANG Zi-ping. Research and utilization of red rice resources in China [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2008, 4: 32-34
- [8] 陈起萱,凌文华.黑米和红米对兔主动脉脂质斑块面积和血脂的影响[J].卫生研究,2000,29(3):45-46
CHEN Qi-xuan, LING Wen-hua. Effects of black and red rice on the formation of aortic plaques and blood lipids in rabbits [J]. Journal of Hygiene Research, 2000, 29(3): 45-46
- [9] 刘守坎,陈孝赏.红米的营养价值及其开发利用[J].上海农业科技,2008,5:41
LIU Shou-kan, CHEN Xiao-shang. The nutrition value of red rice and its development and utilization [J]. Agricultural Technology of Shanghai, 2008, 5: 41
- [10] 高雪燕.留胚米营养成分研究及留胚米产品的开发[D].天津:天津科技大学,2016
GAO Xue-yan. The study on nutrition of embryo rice and development of embryo rice products [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016
- [11] 郑艺梅,何瑞国,郑琳,等.糙米发芽过程中营养成分及植酸含量变化的研究[J].中国粮油学报,2006,21(5):1-4
ZHENG Yi-mei, HE Rui-guo, ZHENG Lin, et al. Change of nutrient and phytic acid contents in brown rice during sprouting period [J]. Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(5): 1-4
- [12] 马先红,刘景圣,陈翔宇.粮食发芽富集 GABA 及食品开发研究进展[J].食品研究与开发,2015,36(21):198-200
MA Xian-hong, LIU Jing-sheng, CHEN Xiang-yu. Research progress on enrichment of γ -aminobutyric acid in germinated grain and function food [J]. Food Research and Development, 2015, 36(21): 198-200
- [13] Ludwig I A, Mena P, Calani L, et al. New insights into the bioavailability of red raspberry anthocyanins and ellagitannins [J]. Free Radical Biology & Medicine, 2015, 89: 758-769
- [14] Esposito D, Damsud T, Wilson M, et al. Black currant

- anthocyanins attenuate weight gain and improve glucose metabolism in diet-induced obese mice with intact, but not disrupted, gut microbiome [J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2015, 63(27): 6172-6180
- [15] Huang W, Zhu Y, Li C, et al. Effect of blueberry anthocyanins malvidin and glycosides on the antioxidant properties in endothelial cells [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 2016(2): 1-10
- Badshah H, Kim T H, Kim M O. Protective effects of Anthocyanins against Amyloid beta-induced neurotoxicity in vivo and in vitro [J]. *Neurochemistry International*, 2015, 80: 51-59
- [16] Jiang Z, Chen C, Xie W, et al. Anthocyanins attenuate alcohol-induced hepatic injury by inhibiting pro-inflammation signalling [J]. *Natural Product Research*, 2015, 30(4): 1-5
- [17] Nakamura O, Moritoh S, Sato K, et al. Bilberry extract administration prevents retinal ganglion cell death in mice via the regulation of chaperone molecules under conditions of endoplasmic reticulum stress [J]. *Clinical Ophthalmology*, 2017, 11: 1825-1834
- [18] Shim S H, Kim J M, Choi C Y, et al. Ginkgo biloba extract and bilberry anthocyanins improve visual function in patients with normal tension glaucoma [J]. *Journal of Medicinal Food*, 2012, 15(9): 818-23
- [19] 孔令瑶,汪云,曹玉华,等.黑米色素的组成与结构分析[J].*食品与生物技术学报*,2008,27(2):25-29
KONG Ling-yao, WANG Yun, CAO Yu-hua, et al. Analysis of components and structures of black rice pigment [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2008, 27(2): 25-29
- [20] 韩豪,李新生,江海,等.UPLC-MS/MS 定性分析黑米中花青苷类物质[J].*食品工业科技*,2014,35(17):289-293
HAN Hao, LI Xin-sheng, JIANG Hai, et al. The application of UPLC-MS /MS in the recognition of anthocyanins in black rice [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(17): 289-293
- [21] El-Sm A A, Young J C, Rabalski I. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains [J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2006, 54(13): 4696-4704